

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Марычева Павла Михайловича «Стационарные неоднородные состояния в токонесущих квазиодномерных сверхпроводниках», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 01.04.07- физика конденсированного состояния).

Исследования сверхпроводников пониженной размерности и мезоскопических гибридных сверхпроводящих систем, на основе которых могут быть созданы принципиально новые квантовые материалы с заданными свойствами, представляют собой одну из наиболее актуальных задач физики конденсированного состояния. Большой интерес к этой области связан как с наличием серьезных фундаментальных продвижений, так и с перспективами прикладного использования таких структур в сверхпроводниковой электронике и низкодиссипативной спинтронике. В диссертации Марычева П.М. изучаются флуктуационные эффекты в квазиодномерных проводах, фазовые солитоны – уникальные сверхпроводящие состояния, характерные для квазиодномерных двухзонных сверхпроводников и продольное состояние Ларкина-Овчинникова-Фулде-Феррела, неоднородное сверхпроводящее состояние, возникающее при определенных условиях в гибридах сверхпроводник/ферромагнетик.

**Актуальность.** Актуальность изучения физики квазиодномерных сверхпроводников связана с необходимостью миниатюризации устройств и бурным развитием нанотехнологий. А в таких сверхпроводниках флуктуационные эффекты играют ведущую роль во многих физических явлениях. Актуальность изучения фазовых солитонов в двухзонных сверхпроводниках носит, прежде всего, фундаментальный характер: наличие двух параметров порядка в сверхпроводнике приводит к различным новым состояниям, невозможным в обычном однозонном сверхпроводнике. В квазиодномерных двухзонных системах таким уникальным пространственно-неоднородным состоянием является фазовый солитон. В связи с этим изучение влияния фазового солитона на свойства сверхпроводящей системы представляет несомненный интерес с точки зрения экспериментального обнаружения этих объектов и понимания физических процессов в данном сверхпроводящем состоянии. Изучение гибридных структур сверхпроводник/ферромагнетик представляет большой интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Фундаментальный интерес связан с возможностью реализации в этих структурах новых нетривиальных типов сверхпроводящих корреляций, таких как триплетная сверхпроводимость Березинского, неоднородное состояние Ларкина-Овчинникова-Фулде-Феррела, а также ряда интересных явлений, связанных с переносом спина. Следствием этого стало активное исследование различных вариантов создания квантовых материалов и устройств для низкодиссипативной спинтроники и квантовой электроники на базе гибридов сверхпроводник/ферромагнетик.

Представленные в диссертации теоретические работы являются важными для дальнейшего развития физики низкоразмерных сверхпроводников и мезоскопических сверхпроводящих гибридов и относятся к тематике, которая активно развивается во всем мире.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объём диссертации составляет 83 страницы, включая 42 рисунка. Во введении к диссертации обосновывается актуальность темы работы, формулируются ее цели, научная новизна и практическая значимость, перечисляются положения, выносимые на защиту. В первой главе приводится обзор литературы по теме диссертации. Во второй главе рассчитывается энергия пороговой флуктуации, переводящей квазиодномерный сверхпроводник в резистивное состояние, и её зависимость от тока. В третьей главе рассматривается ряд эффектов, обусловленных влиянием фазового солитона на свойства

квазиодномерного двухзонного сверхпроводника. В четвертой главе исследуется влияние параллельного магнитного поля и продольного тока на продольное состояние Фульде-Феррелла в S/F/N и S/F/N/F/S структурах. В заключении сформулированы основные результаты работы.

**Новизна и достоверность.** В диссертации получен ряд новых результатов, имеющих важное значение для физики наносистем. Наиболее интересные из них следующие. (1) Рассчитана энергия пороговой флуктуации, переводящей сверхпроводящую проволоку в резистивное состояние для проволок конечной длины (не много больше длины когерентности). (2) Изучено влияние дефектов на зависимость величины пороговой флуктуации от протекающего тока. Показано, что наличие даже слабых дефектов существенно изменяет функциональный вид этой зависимости, что качественно подтверждается существующими экспериментальными данными. (3) Обнаружена осцилляционная зависимость критического тока от длины квазиодномерного двухзонного сверхпроводника, связанная с образованием фазовых солитонов. (4) Предложен флуктуационный механизм образования фазовых солитонов. (5) Предложен механизм токового, полевого или температурного переключения S/F/N/F/N/S гибридов из рi-состояния в состояние Фульде-Феррела и обратно. Достоверность основных выводов, сформулированных диссертантом, обеспечивается адекватным выбором физических моделей, правильным выбором необходимых теоретических методов исследования, сравнением результатов в известных предельных случаях с литературными данными и качественным согласием ряда результатов с имеющимися экспериментальными данными, а также апробацией работы на российских и международных конференциях. Материалы диссертации опубликованы в 5 статьях в отечественных и зарубежных научных журналах, рекомендованных ВАК для опубликования материалов диссертационных исследований, и индексируемых базой данных «Web of Science», включая статьи в Physical Review B и Письмах в ЖЭТФ.

**Научная и практическая значимость.** Научная значимость результатов диссертации состоит в ряде фундаментальных результатов, полученных впервые. Кроме фундаментальной ценности, полученные результаты также могут иметь перспективы прикладного применения в области нанoeлектроники и низкодиссипативной спинтроники.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих экспериментальные исследования в области сверхпроводимости и сверхпроводящей мезоскопии (ИФТТ РАН, ИРЭ РАН, ФИАН и др.)

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что научная и практическая значимость результатов, полученных в диссертации, не вызывает сомнений. Вместе в тем, по диссертации можно сделать ряд замечаний:

**Замечания.**

1. В главе 1 отсутствует подробный вывод граничного условия к уравнению Гинзбурга-Ландау. В связи с этим остается вопрос о точных условиях его применимости.
2. На стр. 22-23 утверждается, что граничное условие (2.4), строго говоря, неприменимо в случае скачкообразного изменения площади сечения образца. А именно этот случай и рассматривается в работе. В связи с этим непонятна точная связь эффективного параметра  $S/S_{pad}$  с характеристиками рассматриваемой системы.
3. В главе 1 утверждается, что при вычислении пороговой флуктуации принципиально важно учитывать подавление параметра порядка в берегах. Из анализа уравнений понятно, что этот учет действительно важен и пренебрежение подавлением приводит к физически неразумным результатам.

Но физический смысл принципиальной роли подавления параметра порядка остается неясным.

4. В главе 3 выражение для свободной энергии системы (4.10) приводится без вывода или ссылок на литературу, где этот вывод был проделан.
5. Хотя математический расчет зависимостей обратной глубины проникновения от поля и тока для S/F/N структур вполне аккуратен и его результаты не вызывают сомнений, физический механизм возникновения локального минимума зависимости обратной глубины проникновения от поля (рис.4.3с и 4.5с) остается неясным. Автор утверждает, что этот эффект связан с тем, что в слабых магнитных полях в N слое быстрее подавляется синглетная компонента, чем триплетная. Но физическая причина такого интересного поведения не обсуждается.

Приведенные замечания, не снижают общей положительной оценки представленной диссертации, выполненной на высоком уровне, и значимости полученных результатов. Все поставленные в диссертационной работе цели достигнуты и соответствуют положениям, выносимым на защиту. Следует отметить, что диссертационная работа Марычева П.М. демонстрирует высокую квалификацию автора как физика-теоретика и является существенным вкладом в развитие физики сверхпроводящих гибридных и низкоразмерных систем. Отдельно стоит отметить то, что автор свободно владеет достаточно сложным техническим аппаратом современной сверхпроводящей мезоскопии, как аналитическими, так и численными методами. На протяжении всей диссертации проводится тщательный анализ полученных результатов и аккуратное сопоставление с имеющимися литературными данными, как теоретическими, так и экспериментальными.

Диссертационная работа Марычева Павла Михайловича «Стационарные неоднородные состояния в токнесущих квазиодномерных сверхпроводниках» представляет собой законченное научное исследование, которое содержит решения поставленных научных задач, имеющих большое значение для развития низкотемпературной физики наносистем, и содержит новые важные результаты, которые могут быть рекомендованы к использованию для решения различных теоретических и прикладных задач.

Диссертация и автореферат написаны хорошим и понятным языком. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Резюмируя, результаты диссертации представляются достоверными и научно обоснованными, обладают научной новизной, теоретической и практической значимостью. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая удовлетворяет требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г. и предъявляемым к кандидатским диссертациям. П. М. Марычев безусловно заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Бобкова Ирина Вячеславовна,

кандидат физико-математических наук, 01.04.07 – физика конденсированного состояния,  
старший научный сотрудник

федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института физики твердого тела РАН

17.03.2020 г.

Почтовый адрес:

ИФТТ РАН, Черноголовка, Московская обл., ул.Академика Осипьяна д.2, 142432, Россия  
Тел: +74965225425

e-mail: bobkova@issp.ac.ru

Подпись И.В. Бобковой заверяю

ученый секретарь ИФТТ РАН

к.ф.-м.н. А. Н. Терещенко

